

Ömer Gündüz BİLİR

Doç.Dr.,
Makina Mühendisliği Bölümü,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara

Dondurulmuş Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

GİRİŞ

Dolgu maddesi ihtiva eden kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde yapılan birçok araştırmada, dolgu maddesi tanecik boyutu olarak, 30 µm'nin altındaki boyutlar kullanılmıştır. Bu çalışmada dolgu maddesi olarak kullanılan alumina trihidrat tozlarının ortalama tanecik boyutları 30 µm ile 137.5 µm arasında değişmektedir. Yurdumuzda üretilen dolgu maddesi tozlarının boyutlarına göre sınıflandırılmaları için henüz bir standartlaşma olmadığından, bu tozlar öğütücüden çıktığı gibi kullanılmak üzere piyasaya verilmektedir.

Alumina trihidrat tozunun dolgu maddesi olarak bu araştırmada kullanılmasındaki en önemli faktörlerden biri, bu maddenin yanmama özelliğine sahip olmasıdır. Yapılan deneylerden elde edilen verilere göre matris malzeme içerisine konulan alumina trihidrat tozlarının tanecik boyutunun artmasıyla malzemenin yanmama özelliğinin arttığı bulunmuştur.

Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde gözlenen değişimler, dolgu maddesi tanecikler arası ortalama serbest mesafeye (mfp) ve dolgu maddesi hacim oranına (V_p) bağlı olarak incelenmiştir. Konu ile ilgili literatürde mevcut çalışmaların çoğunda kompozit malzemelerin mekanik özellikleri dolgu maddesi tanecik boyutu ya da dolgu maddesi hacim oranı ile araştırılmıştır. Halbuki malzemenin mekanik özellikleri mfp'e bağlı olarak incelendiğinde, elde edilen eğriler hem tanecik boyutunu hem de dolgu maddesi hacim oranını kapsamaktadır. Çünkü mfp değerinin hesaplanmasında kullanılan

$$mfp = \frac{2d}{3V_p} (1 - V_p) \quad (1)$$

eşitliğinden [1] de görüleceği üzere mfp dolgu maddesi tanecik boyutu (d_m) ile hacim oranının (V_p) bir fonksiyonudur.

Araştırmada kullanılan dolgu maddesi matris malzeme ile iyi bir bağ oluşturmamaktadır. Piyasadan temin edilen alumina trihidrat tozları hiçbir yüzeysel kaplama işlemine tabi tutulmamış ve bağlayıcı eleman olarak kullanılan kimyasal maddeler katılmamıştır. Bunun neticesi olarak da matris malzeme ile dolgu maddesi arasında zayıf bir bağ oluşmuştur.

Kullanılan dolgu maddesi tanecik şekilleri incelendiğinde taneciklerin hepsinin küresel olmadığı ve bazılarında keskin köşelerin bulunduğu gözlenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

a) Kullanılan Malzemeler

Bu araştırmada İlkester Reçine Sanayi A.Ş. tarafından üretilen genel amaçlı P-1016 doymamış poliyester reçinesi matris malzeme olarak kullanılmıştır. Reçinenin fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Dolgu maddesi olarak Etibank Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nden temin edilen alumina trihidrat ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) tozları kullanılmıştır. Bu tozlar 150, 125, 90, 71 ve 50 µm eleklerden geçirilerek

Çizelge 1 P-1016 poliyester reçinesinin fiziksel özellikleri

Viskosite (10°)	4-5 Poise
Özgül Ağırlık ρ_m (20°)	1.08 gr/cm ³
Asit Değeri	17-25 gr KDH/gr
Styren Oranı	% 40
Görünüş	Hafif puslu ve saman-rengi
Stabilite 20° karanlıkta	4-6 Ay

ortalama tanecik boyutlarına göre tasnif edilmişlerdir. Alumina trihidrat tozlarının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Poliyester reçinesine ilave edilen çeşitli oranlardaki kür katkı maddeleri ile jelleşme süreleri tayin edilmiştir. Kür reaksiyon başlatıcı olarak Metil Etil Keton Peroksit (MEKP) sertleştiricisi ile kobaltlı hızlandırıcı kullanılmıştır. Numune hazırlama bakımından en iyi jelleşme süresini veren % 0.5 Kobalt Tuzu ve % 1 MEKP karışımı seçilmiştir. Bu karışıma göre reçinenin jelleşme zamanı 12 dakika olarak bulunmuş ve bütün deneylerde bu karışım oranı sabit tutulmuştur.

Çizelge 2 Alumina trihidrat tozlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri bileşimi

Al ₂ O ₃	% 98.3 En az
SiO ₂	% 0.013
Fe ₂ O ₃	% 0.021
Na ₂ O	% 0.290
ZnO ₂	% 0.007
TiO	% 0.002
P ₂ O ₅	% 0.001
Rutubet (5110°C)	% 12
Elektriksel Direnci	10 ¹⁰ ohm-cm
Özgül Ağırlık ρ_p	2.47 gr/cm ³
PH	11.0-11.5

b) Kompozit Malzemenin Hazırlanması

Kompozit malzemenin hazırlanması için gerekli reçine ve dolgu maddesi miktarları aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

1. Kompozit Malzemenin İçerisindeki Dolgu Maddesi Hacim Oranının (V_p) Hesaplanması:

Dolgu maddesi tanecikler arasında istenilen ortalama serbest mesafe (mfp) değeri ve kullanılacak olan ortalama dolgu maddesi tanecik boyutu (d_m) için denklem (1)'de verilen eşitlik kullanılarak kompozit malzeme içerisindeki dolgu maddesi hacim oranı V_p hesaplanmaktadır.

2. Alumina Trihidrat Tozu ve Poliyester Reçine Miktarlarının Hesaplanması:

Üretilen kompozit malzeme içerisinde istenilen

Çizelge 3 Deneysel programı

Numune No	mfp μm	d_m μm	V_p %	W_1 gr	W_2 gr
1	00	0.0	0.00	0.00	0.00
2	50	30.0	28.57	47.77	91.48
3	75	30.0	21.05	37.88	60.98
4	100	30.0	16.67	81.39	65.75
5	125	30.0	13.79	26.78	36.58
6	150	30.0	11.76	23.36	30.48
7	200	30.0	9.09	18.61	22.87
8	75	60.5	34.97	55.15	122.99
9	100	60.5	28.74	47.98	92.24
10	125	60.5	24.40	42.47	73.81
11	150	60.5	21.19	38.08	61.49
12	200	60.5	16.78	31.56	46.11
13	400	60.5	9.16	18.74	23.06
14	100	80.5	34.92	55.10	122.72
15	125	80.5	30.04	49.55	98.20
16	150	80.5	26.35	45.00	81.82
17	200	80.5	21.16	38.04	61.38
18	400	80.5	11.83	23.48	30.69
19	125	107.5	36.44	56.73	131.12
20	150	107.5	32.33	52.21	109.27
21	200	107.5	26.38	45.04	81.95
22	400	107.5	15.19	29.06	40.96
23	1000	107.5	6.69	14.09	16.40
24	150	137.5	37.93	58.29	139.76
25	200	137.5	31.43	51.29	104.83
26	400	137.5	18.64	34.38	52.40
27	1000	137.5	8.40	17.34	20.97

dolgu maddesi hacim oranı V_p olması için alumina trihidrat tozunun V_p ve poliyester reçinesinin de V_m ($V_m=1-V_p$) hacminde olması gerekmektedir. Bu değerler ağırlık olarak yazıldığı takdirde:

$$\text{Dolgu maddesi için } W_p = V_p \times \rho_p \quad (2)$$

$$\text{Reçine için } W_m = V_m \times \rho_m = (1-V_p) \rho_m \quad (3)$$

$$\text{Toplam ağırlık } W = W_p + W_m \quad (4)$$

$$\text{ya da } W = V_p \rho_p + (1-V_p) \rho_m \quad (5)$$

olacaktır. Burada ρ_p dolgu maddesinin özgül ağırlığı, ρ_m poliyester reçinesinin özgül ağırlığı ve V_p 'de-dolgu maddesinin kompozit malzeme içindeki hacim oranıdır.

Yukarıdaki eşitliklerden dolgu maddesinin kompozit malzeme içerisindeki ağırlık olarak yüzdesi:

$$W_1 = \frac{V_p \rho_p}{V_p \rho_p + (1-V_p) \rho_m} \times 100 \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Diğer yandan dolgu maddesinin poliyester reçine içerisindeki ağırlık miktar yüzdesi de:

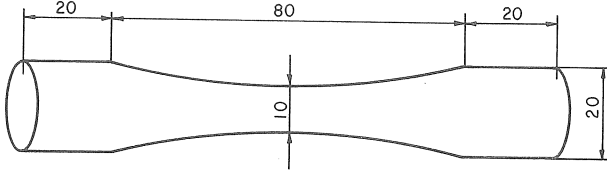
$$W_2 = \frac{V_p \rho_p}{(1-V_p) \rho_m} \times 100 \quad (7)$$

bağlantısıyla bulunmaktadır.

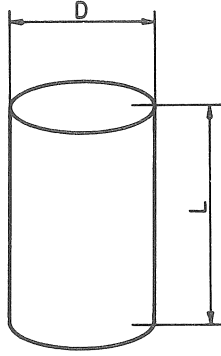
c) Deney Numuneleri

Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin bulunması için çekme, basma, eğilme ve darbe deney numuneleri hazırlanmıştır. Çekme deney numuneleri Şekil 1'de gösterilen ölçülere göre çelikten yapılmış bir kalıba dökülerek elde edilmiştir.

Basma deneyleri için uzunluk/çap (L/D) oranları 0.5, 1 ve 1.5 olan üç ayrı deney numunesi Şekil 2' de gösterilen ölçülere göre teflondan yapılmış kalıplarda hazırlanmışlardır.

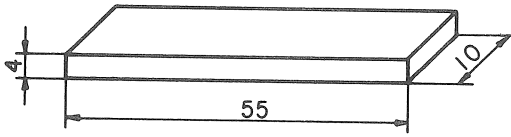


Şekil 1 Çekme deney numunesi

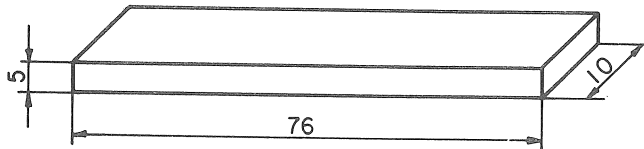


Şekil 2 Basma deney numunesi

Eğilme deney numuneleri Şekil 3'de, darbe deney numuneleri de Şekil 4'de gösterilen ölçülere göre pirinçten yapılmış kalıplardan çıkartılmışlardır.



Şekil 3 Eğilme deney numunesi



Şekil 4 Darbe deney numunesi

Bütün kalıplara aynı anda dökülen kompozit malzemede, dolgu maddesinin reçine içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlamak amacıyla kalıplar 1.5 d/dak ile dönen bir cihaza bağlanarak 30 dakika döndürülmüştür.

Dönme işleminden sonra kalıplar 80°C'lik bir fırında son kür işleminin tamamlanması için 1 saat tutulmuştur.

d) Deney Programı

Kompozit malzemenin içerisindeki dolgu maddesi hacim oranı ile tanecik boyutunun malzemenin mekanik özelliklerine olan etkilerini incelemek için Çizelge 3'e göre hazırlanmış deney numuneleri kullanılmıştır.

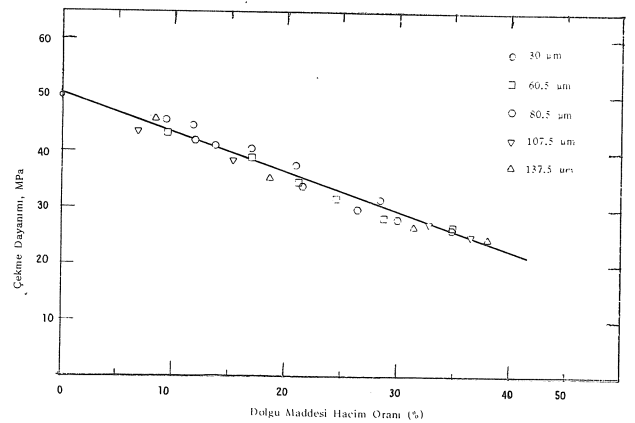
Çekme, basma ve eğilme deneyleri 10 tonluk Instron Universal çekme-basma makinasında yapılmış ve bütün deneylerde çene ilerleme hızı 0.5 mm/dak olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Darbe deneyleri Universal Tinius Olsen darbe test makinasında yapılarak, darbe deneyi esnasındaki yük değişimi ve darbe enerjileri test makinası üzerinde bulunan cihazlar yardımıyla kaydedilmiştir.

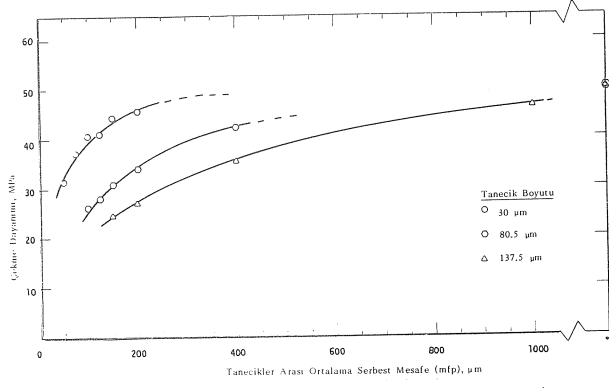
Deney numunelerinin sertlikleri Colman Sertlik ölçme cihazı ile ölçülmüştür.

DENEY SONUÇLARI

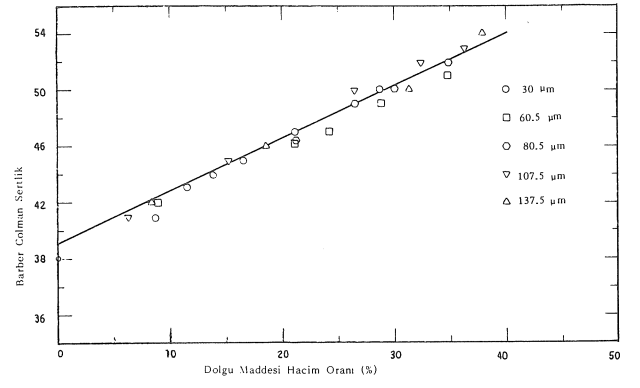
Malzemenin mekanik özelliklerinin dolgu maddesi hacim oranına ve tanecikler arası ortalama serbest mesafeye göre değişimleri Şekil 5-20'de gösterilmiştir.



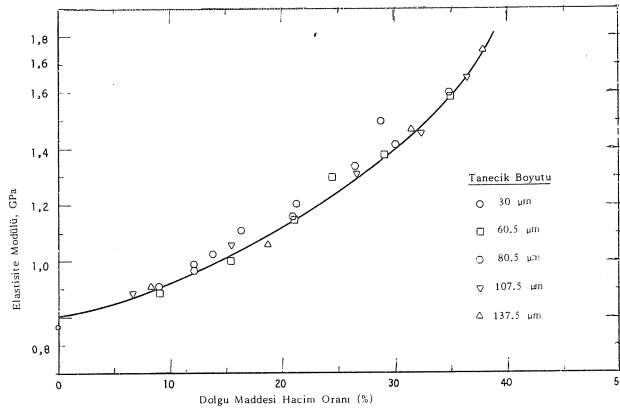
Şekil 5 Çekme dayanımının dolgu maddesi hacim oranı ile değişimi



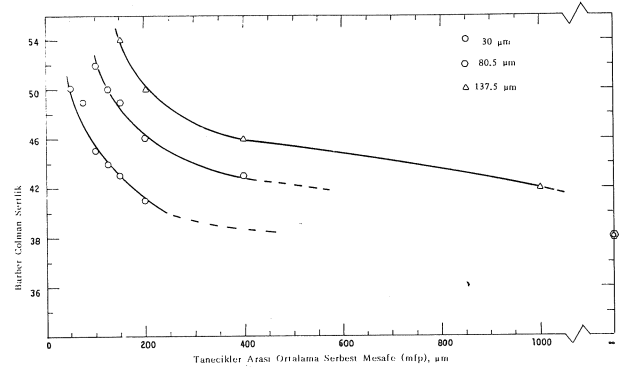
Şekil 6 Çekme dayanımının tanecikler arası ortalama serbest mesafesi ile değişimi



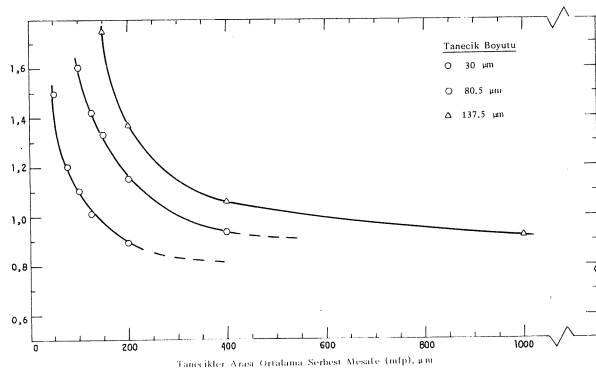
Şekil 9 Barber Colman sertlik değerinin dolgu maddesi hacim oranı ile değişimi



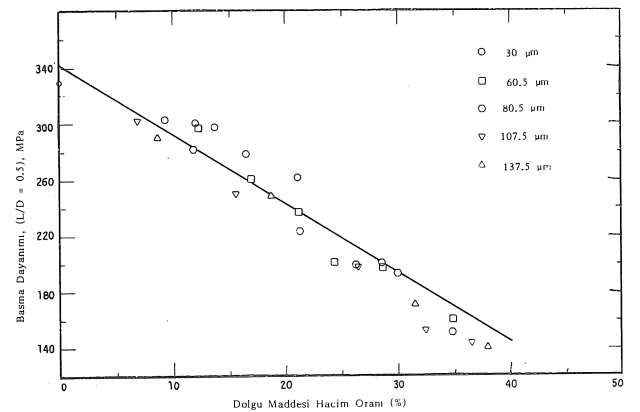
Şekil 7 Elastisite modülünün dolgu maddesi hacim oranı ile değişimi



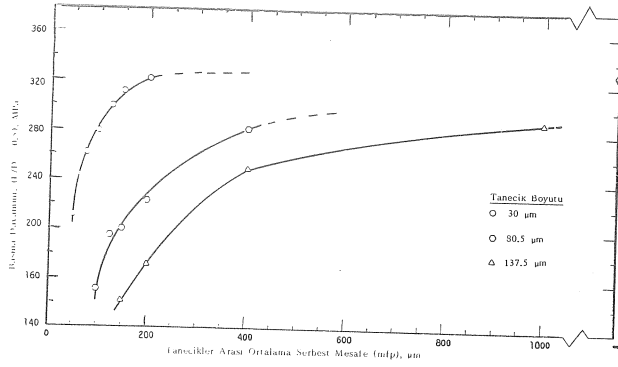
Şekil 10 Barber Colman sertlik değerinin tanecikler arası ortalama serbest mesafesi ile değişimi



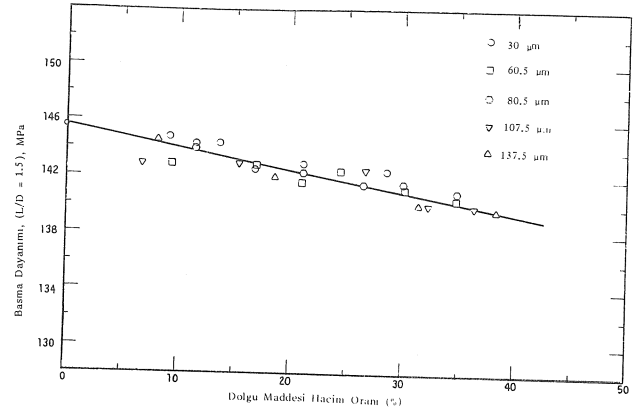
Şekil 8 Elastisite modülünün tanecikler arası ortalama serbest mesafesi ile değişimi



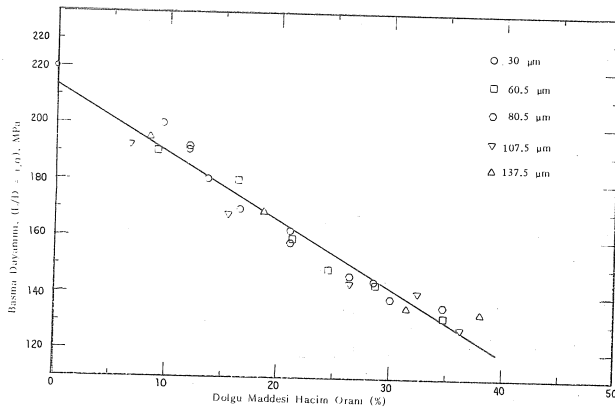
Şekil 11 Basma dayanımının dolgu maddesi hacim oranı ile değişimi (L/D=0.5)



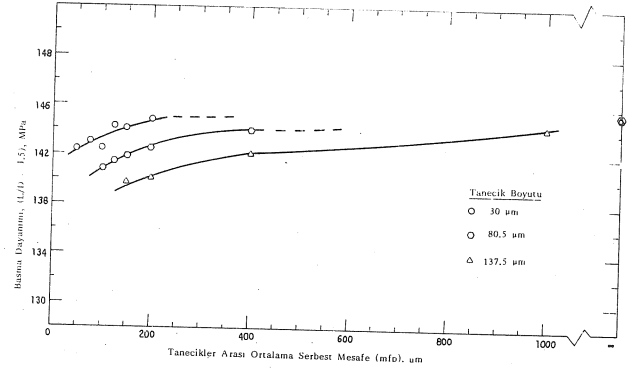
Şekil 12 Basma dayanımının tanecikler arası ortalama serbest mesafesi ile değişimi (L/D=0.5)



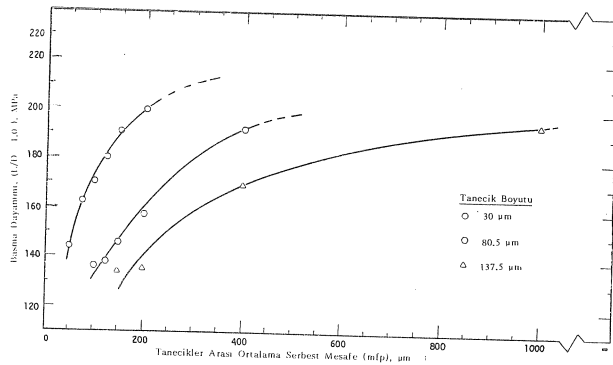
Şekil 15 Basma dayanımının dolgu maddesi hacim oranı ile değişimi (L/D=1.5)



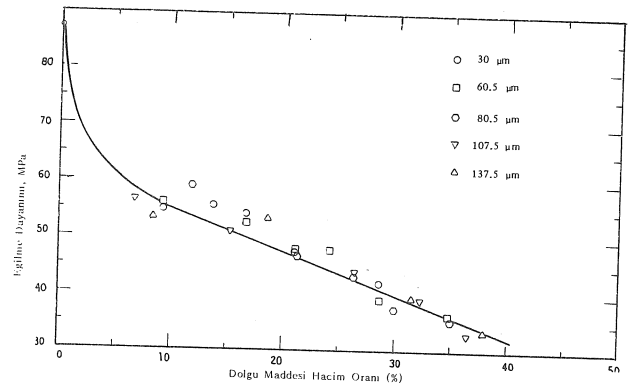
Şekil 13 Basma dayanımının dolgu maddesi hacim oranı ile değişimi (L/D=1.0)



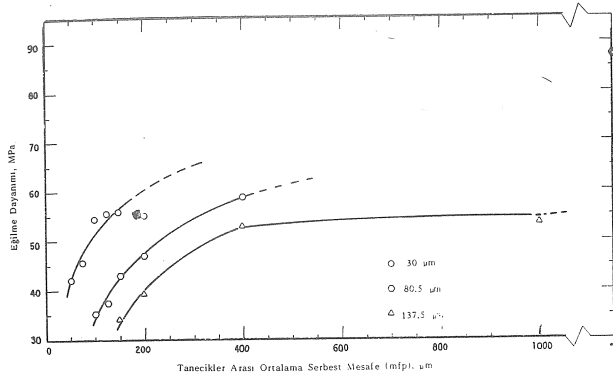
Şekil 16 Basma dayanımının tanecikler arası ortalama serbest mesafesi ile değişimi (L/D=1.5)



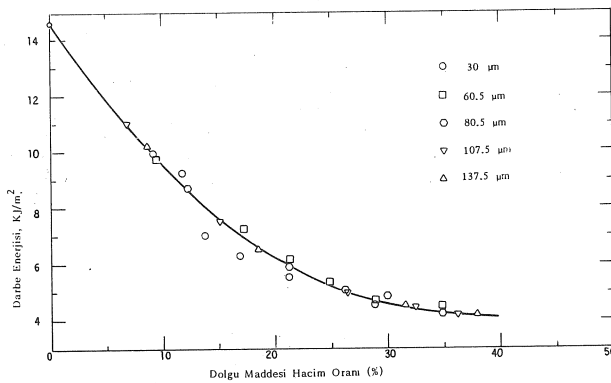
Şekil 14 Basma dayanımının tanecikler arası ortalama serbest mesafesi ile değişimi (L/D=1.0)



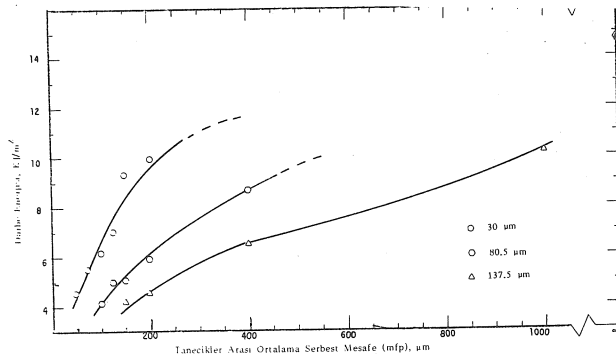
Şekil 17 Eğilme dayanımının dolgu maddesi hacim oranı ile değişimi



Şekil 18 Eğilme dayanımının tanecikler arası ortalama serbest mesafesi ile değişimi



Şekil 19 Darbe enerjisinin dolgu maddesi hacim oranı ile değişimi



Şekil 20 Darbe enerjisinin tanecikler arası ortalama serbest mesafesi ile değişimi

Bu şekillerden de görüleceği gibi, dolgu maddesi olarak alumina trihidrat tozu ihtiva eden kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin dolgu maddesi hacim oranına, tanecik boyutuna ya da bu iki özelliği birden kapsayan dolgu maddesi tanecikler arası ortalama serbest mesafeye bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Malzeme dayanımları üzerinde yapılan teorik çalışmalarda bu hususlar üzerinde durularak dayanımların dolgu maddesi tanecik boyutuna bağlı olduğu kadar tanecikler arası ortalama serbest mesafeye bağlı olduğu ileri sürülmüştür. [1-4].

Bu malzemenin mekanik özellikleri mfp'e göre incelendiğinde verilen dolgu maddesi her tanecik boyutu için kritik bir mfp değeri olduğu görülmüştür. Bu kritik mfp değerinin altında malzeme dayanımlarının hissedilir bir şekilde azaldıkları gözlenmiştir. Malzeme içerisindeki dolgu maddesi tanecikler arası ortalama serbest mesafesinin azalmasıyla birbirine yaklaşan tanecikler, malzeme içerisinde çatlak ilerlemesini kolaylaştıracağından malzeme dayanımlarında gözlenen azalmalara neden olmuştur.

İncelenen bu malzemede kritik mfp değerleri küçük tanecik boyutlarında yaklaşık 150-200 µm ve daha büyük boyutlarda ise, 400-1000 µm arasında değişmektedir. Bu değerlerin üzerinde malzeme dayanımlarında ani değişimler olmadığı ve matris malzeme dayanımına yakın değerler elde edildiği görülmüştür.

Malzemenin mekanik özellikleri dolgu maddesi hacim oranına göre incelendiğinde çekme, basma ve sertlik değerlerinin doğrusal olarak, elastisite modülü, eğilme dayanımı ve darbe enerjilerinin ise doğrusal olmayan bir değişme gösterdiği bulunmuştur.

Mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde kullanılan dolgu maddesi taneciklerinin yüzeysel kaplama işlemi bu çalışmada kullanılmamıştır. Bu konu ile ilgili araştırmaların bazılarında [5-8] mekanik özelliklerin yüzde 10-15 arasında arttığı belirtilmiştir.

Kür katkı maddesi olarak kullanılan kobalt tuzu ve MEKP kimyasal bileşikler ve matris malzeme olarak kullanılan poliyester reçine oda sıcaklığında zamanla özelliklerini yitirmektedirler. Deney programı içerisinde verilen bütün numunelerini (bir set için 162 adet numune) bir anda dökmek mümkün olmadığından, kür katkı maddelerinde ve reçine de meydana gelecek değişimler malzemenin mekanik özelliklerine tesir edecektir. Bunun için kür katkı maddeleri ve reçine, kullanılmadıkları zaman karanlık ve serin bir yerde muhafaza edilerek malzeme özelliklerine olan etkilerinin azaltılmasına çalışılmıştır.

Diğer yandan reçine dolgu maddesi ve kür katkı maddelerinin tartımında olabilecek çok küçük oynamalar derhal malzeme özelliklerine etki edecektir. Hassas bir elektronik terazi kullanarak bu etkinin azaltılmasına çalışılmıştır.

Malzeme özelliklerine tesir eden bütün bu-faktörler göz önünde tutulduğunda, bazı deney verilerinde görülen dağınık neticeler normal kabul edilebilir.

Dolgu maddesi olarak kullanılan alumina trihidrat tozunun önemli bir özelliği yanmayı geciktirmesi ve elektriksel direncinin yüksek olmasıdır. Yapılan deneylerden tanecik boyutunun artmasıyla yanmanın azaldığı görülmüştür. Yanmama ve iyi mekanik özelliklerini içeren bir malzemenin geliştirilmesi ise ancak alumina trihidrat toz boyutunun büyük seçilmesi ve bu tanecik boyutuna rastlayan kritik mfp değerinin üstünde çalışılmasıyla mümkündür.

SONUÇ

Malzemenin mekanik özelliklerinin dolgu maddesi hacim oranı ve tanecik boyutu ile yani tanecikler arası ortalama serbest mesafesiyle değiştiği bulunmuştur.

Çekme, basma dayanımları dolgu maddesi hacim oranına bağlı olarak doğrusal bir azalma göstermiştir.

Malzemenin elastisite modülü dolgu maddesi hacim oranı ile parabolik bir değişme göstererek hacim oranının artmasıyla artmıştır.

Eğilme dayanımı ve darbe enerjileri ise, dolgu maddesi hacim oranına bağlı olarak doğrusal olmayan bir azalma göstermiştir.

Barber Colman Sertlik değerleri dolgu maddesi hacim oranıyla doğrusal bir artış vermiştir.

Malzemenin mekanik özellikleri dolgu maddesi tanecikler arası ortalama serbest mesafeye bağlı

olarak üssel bir değişme göstermişler ve her tanecik boyutu için kritik bir mfp değeri olduğu görülmüştür. Küçük tanecik boyutlarında bu değerin yaklaşık 200 μm ve büyük tanecik boyutlarında ise, 1000 μm olduğu bulunmuştur.

Verilen bir mfp değeri için dolgu maddesi tanecik boyutunun azalmasıyla malzemenin çekme, basma, eğilme ve darbe dayanımlarında artış olmuş, elastisite modülü ve sertlik değerlerinde ise azalma görülmüştür.

MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICULATE FILLED COMPOSITE

In this study, the mechanical properties of polyester $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ composite system are investigated.

It is seen that the mechanical properties of composite system depend on the volume fraction of the filler, the particle size or the mean free path which is the combination of these two.

KAYNAKÇA

- 1 Edelson, B.I., and Baldwin, W.M., "The Effect of Second Phases on the Mechanical Properties of Alloys", *Trans. ASME*, 55, (1962).
- 2 Bractman, L.J., and Krock, R.H., "Modern Composite Materials", Reading, Massachusetts Addison-Wesley Publishing Company, 2, 1967.
- 3 Lange, F.F., and Radford, K.C., "Fracture Energy of an Epoxy Composite System", *J. Mat. Science*, 6, (1971).
- 4 Gensamer, M., "Strength and Ductility", *Am. Soc. Metals-Trans.*, 36, (1946), 30.
- 5 Griffith, A.A., "the Phenomena of Rapture and Flow in The Solids", *Phil. Trans. Roy. Soc.*, A221, 163, (1920).
- 6 Brantman, L.J., and Sahu, S., "The Effect of Interfacial Bonding on the Toughness of Glass Filled Polymers", *Mat. Science and Eng.*, 8, (1971), 98.
- 7 Lange, F.F., "The Interaction of a Crack Front with a Second Phase Dispersion", *Phil. Mag.*, 22, (1971), 983.
- 8 Lange, F.F., "Fracture Energy and Strength Behaviour of a Sodium Borosilicate Glass- Al_2O_3 Composite System", *J. Amer. Ceramic Society*, 54, (1971), 614.